

АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ

УДК 629.623.437-8

А. М. ЗАВГОРОДНИЙ, магистр, НТУ «ХПИ»;**В. И. МИРОНЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;**Н. Е. СЕРГИЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;**ОЦЕНКА ОПОРНОЙ ПРОХОДИМОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ**

Предложен анализ существующих показателей опорной проходимости автомобилей, на основе которых разработана методика оценки проходимости машин с различным приводом ведущих колес. Определены условия движения автомобиля.

Ключевые слова: автомобиль, проходимость, оценка, методика

Введение. Анализ различных схем приводов автомобилей с учетом тягово-сцепных свойств в условиях бездорожья осуществляется с помощью сравнительных характеристик опорной проходимости. Опорная проходимость автомобилей определяется с применением нормативных и обобщенных оценочных показателей. Анализ показателей оценки опорной проходимости является актуальной задачей, так как их изучение способствует определению потенциальных возможностей автомобилей и специальных транспортных средств.

Анализ последних достижений и публикаций. Нормативные оценочные показатели опорной проходимости установлены ГОСТ 22653–77 [1] и включают в себя следующие показатели:

1. Сцепная масса (сцепной вес) автомобиля $m_{\text{сц}}$ ($G_{\text{сц}}$) – часть массы (веса) автомобиля, создающая нормальные нагрузки ведущих колес автомобиля:

$$G_{\text{сц}} = m_{\text{сц}} \cdot g = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m R_{zy}, \quad (1)$$

где m – число ведущих осей;

R_{zy} – нормальная реакция, действующая на i -ое колесо j -ой ведущей оси автомобиля, Н.

2. Коэффициент сцепной массы (сцепного веса) автомобиля $k_{\text{сц}}$ – отношение сцепной массы (сцепного веса) автомобиля $m_{\text{сц}}$ ($G_{\text{сц}}$) к полной массе (полному весу) m_a (G_a) автомобиля

$$k_{\text{сц}} = \frac{m_{\text{сц}}}{m_a} = \frac{G_{\text{сц}}}{G_a} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m R_{zy}}{G_a} \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где α – угол продольного наклона дороги.

Условие возможности движения автомобиля по сцеплению ведущих колес с опорной поверхностью $\varphi_x \cdot G_{\text{сц}} \geq \psi \cdot G_a$, откуда $\frac{G_{\text{сц}}}{G_a} k_{\text{сц}} \geq (f + i) \varphi_x$,

где f – коэффициент сопротивления движению автомобиля;

i – коэффициент сопротивления подъему;

© А. М. Завгородний, **В. И. Мироненко**, Н. Е. Сергиенко, 2012

φ_x – коэффициент сцепления колес с опорной поверхностью.

3. Удельная мощность автомобиля $p_{y\partial}$ – отношение номинальной мощности двигателя $N_{e\max}$ к полной массе автомобиля m_a :

$$p_{y\partial} = \frac{N_{e\max}}{m_a} . \quad (3)$$

где m_a – полная масса прицепа, кг.

4. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению автомобиля N_f – мощность, равная сумме мощностей сопротивления качению колес автомобиля

$$N_f = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^n N_{fij} , \quad (4)$$

где n – число осей автомобиля;

N_{fij} – мощность сопротивления качению i -го колеса j -ой оси, Вт.

5. Мощность сопротивления движению автомобиля N_d – мощность, равная сумме мощности сопротивления качению автомобиля N_f и мощностей, затрачиваемых на преодоление трения в трансмиссии $N_{тр}$ и сопротивления подъему N_i , инерции N_a , воздуха N_v и прицепа $N_{пр}$.

6. Мощность колеобразования автомобиля N_{Γ} – часть мощности сопротивления качению автомобиля N_f , затрачиваемая на деформирование опорной поверхности движителем автомобиля.

7. Полная сила тяги автомобиля F_T – сила тяги автомобиля, равная сумме сил тяги ведущих колес автомобиля:

$$F_T = \sum_{i=1}^2 \sum_j^m F_{Tij} , \quad (5)$$

где m – число ведущих осей;

F_{Tij} – сила тяги i -го ведущего колеса j -ой ведущей оси, Н.

8. Свободная сила тяги автомобиля $F_{св}$ – сила тяги автомобиля, равная разности между полной силой тяги автомобиля F_T , равномерно движущегося по горизонтальной опорной поверхности ($F_a=0$ и $F_i=0$) и суммой силы сопротивления воздуха F_v и толкающих сил ведомых колес автомобиля $F_{\Gamma\text{вм}}$.

9. Коэффициент свободной тяги автомобиля $k_{св}$ – отношение свободной силы тяги автомобиля $F_{св}$ к полному весу автомобиля G_a :

$$k_{св} = \frac{F_{св}}{G_a} . \quad (6)$$

10. Сила тяги на крюке автомобиля – сила, приложенная к автомобилю со стороны прицепа $F_{кр}=F_{пр}$.

11. Удельная сила тяги на крюке автомобиля $k_{кр}$ – сила тяги на крюке автомобиля $F_{кр}$, отнесенная к полному весу автомобиля G_a

$$k_{кр} = \frac{F_{кр}}{G_a}. \quad (7)$$

12. Тяговая мощность на крюке автомобиля $N_{кр}$ – мощность, равная произведению сил тяги на крюке автомобиля $F_{кр}$ на скорость движения автомобиля V :

$$N_{кр} = F_{кр} \cdot V. \quad (8)$$

13. Удельная тяговая мощность на крюке автомобиля $y_{кр}$ – мощность, равная отношению тяговой мощности на крюке автомобиля $N_{кр}$ к полной массе автомобиля m_a

$$y_{кр} = \frac{N_{кр}}{m_a}. \quad (9)$$

14. Давление колес на дорогу оценивают средним давлением колеса в контакте p_k и средним давлением колеса по выступам рисунка протектора $p_{пр}$. Среднее давление колеса в контакте равно отношению нормальной реакции опорной поверхности на колесо R_z к контурной площади контакта A_k среднее давление колеса по выступам рисунка протектора – отношению R_z к площади контакта по выступам рисунка протектора $A_{пр}$

$$p_k = \frac{R_z}{A_k}, \quad (10)$$

$$p_{пр} = \frac{R_z}{A_{пр}}. \quad (11)$$

Среднее давление p_k и $p_{пр}$ связаны через коэффициент насыщенности проектора

$$p_{пр} = \frac{p_k}{K_{п}}, \quad (12)$$

где $K_{п}$ – отношение площади контакта по выступам к контурной площади контакта.

15. Тягово-скоростная характеристика автомобиля на заданном участке местности представляет зависимость удельной силы тяги на крюке $k_{кр}$ от скорости автомобиля V на разных передачах трансмиссии.

16. Зависимость мощности сопротивления качению N_f от скорости движения V автомобиля получают графически, путем вычитания из мощности N_{fa} , подведенной к движителю, тяговой мощности $N_{кр}$ на крюке автомобиля.

17. Способность преодоления труднопроходимых участков пути – это экспериментально определяемый предельный уровень проходимости при преодолении размокших грунтовых участков (суглинков или чернозем) и заболоченного луга с низкой несущей способностью.

18. Наибольшая глубина преодолеваемой снежной целины H_T – экспериментально определяемый предельный уровень проходимости при преодолении тяжелого снежного бездорожья.

Следует отметить, что при необходимости разносторонней оценки возможностей автомобиля по проходимости нельзя ограничиваться только нормативными показателями. Рядом исследователей предложены комплексные оценочные зависимости. Их анализ, в совокупности с рассмотренными нормативными показателями, позволит определиться с критериями, по которым будет произведена сравнительная оценка опорной проходимости автомобилей с различной схемой трансмиссии.

Цель и постановка задачи. Целью данной работы является анализ показателей проходимости автомобилей и разработка методики оценивания опорной проходимости машин с различными приводами ведущих колес.

Основной раздел. Для комплексной оценки проходимости автомобилей по грунтам с низкой несущей способностью используются обобщённые оценочные показатели опорной проходимости.

Агейкин Я.С. [2] для оценки проходимости предложил неравенство:

$$k_{\text{сц}} \cdot \varphi \geq f_{\text{г}} + (1 - k_{\text{сц}}) \cdot f_{\text{ш}} + f_k + f_6 + \text{tg} \alpha, \quad (13)$$

где $k_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепного веса;

φ – коэффициент сцепления;

α – угол подъема;

$f_{\text{г}}, f_{\text{ш}}$ – коэффициент сопротивления грунта, шины качению;

f_6 – коэффициент бульдозерного сопротивления;

f_k – коэффициент сопротивления движению.

Ряд оценочных показателей предложен Бабковым В.Ф. [3]

$$П = \varphi - f, \quad (14)$$

$$\lambda_c = \frac{V}{V_p}, \quad (15)$$

$$\lambda_T = \frac{G_{\text{ГР}}}{G_{\text{ГРР}}}, \quad (16)$$

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{Q}{Q_p}, \quad (17)$$

$$\lambda_p = \frac{N}{N_p}, \quad (18)$$

где $П$ – показатель проходимости;

φ – коэффициент сцепления;

f – коэффициент сопротивления качению;

$\lambda_{c,T,\Delta,P}$ – коэффициенты скорости, грузоподъемности, экономичности, работоспособности;

V, G, Q, N – скорость движения машины, грузоподъемность, расход топлива при движении по участку местности, пропускная способность; индекс «р» обозначает движение по дорогам с усовершенствованным покрытием.

Барахтанов Л.В. в работе [4] проходимость машин по снегу предлагает оценивать непосредственно по зависимостям силы тяги P_m (по сцеплению), силы сопротивления P_f и запаса силы тяги ΔP от высоты снежного покрова

$$P_m = P_m(H), P_f = P_f(H), \Delta P = \Delta P(H). \quad (19)$$

Безбородова Г.Б. [5] рекомендует производить оценку проходимости, используя коэффициент

$$C = \frac{G_{огр} \cdot V_{огр}}{G_{гр} \cdot V_a}, \quad (20)$$

где $G_{гр}, V_a, G_{огр}, V_{огр}$ – соответственно номинальная грузоподъемность и максимальная скорость движения машины по дорогам с усовершенствованным покрытием, грузоподъемность и скорость в данных дорожных условиях.

В [6] Гмошинский В.Г. проходимость определяет по соотношению давлений

$$\alpha = \frac{p_{\max}}{p}, \quad (21)$$

где p_{\max} – максимальное давление, Па;

p – среднее давление, Па.

Гребенщиков В.И. и Бронштейн Я.И. [7] предложили оценивать проходимость двумя коэффициентами:

1. Обобщенный эксплуатационный показатель

$$A = \frac{G_{гр} \cdot S}{t \cdot Q}, \quad (22)$$

где $G_{гр}$ – грузоподъемность, Н;

t – время движения, с;

S – пройденный путь, м;

Q – расход топлива за пробег, л.

2. Конструктивный показатель

$$K = \frac{k_T \cdot k}{q_{vc}}, \quad (23)$$

где k_T – удельное тяговое усилие, Н;

k – коэффициент сцепного веса;

$$q_{vc} = \frac{2 \cdot G_a}{z \cdot D \cdot B},$$

G_a – полный вес машины, Н;

z – число колес;

D – диаметр шины, м;

B – ширина шины, м.

Для оценки проходимости машин Беккер М.Г. [8] вводит три коэффициента

$$I = \frac{P_k}{G}, \quad (24)$$

$$E = \frac{P_k \cdot V_0}{N}, \quad (25)$$

$$M = \frac{W_p \cdot V}{N}, \quad (26)$$

где I, E, M – коэффициенты удельной силы тяги, тягового к.п.д., грузоподъемности;

G – вес машины, Н;

V_0 – скорость машины, м/с;

N – мощность двигателя, Вт;

W – полезная нагрузка, Н;

V – скорость движения, м/с.

Кнороз В.И., Шарикян Ю.Э. ввели общий коэффициент проходимости [9]:

$$\Pi = (M_\phi - M_f) \cdot M_\phi, \quad (27)$$

где M_ϕ – момент сцепления колес с дорогой, Н·м;

M_f – момент сопротивления движению, Н·м.

Крагельский И.В. в [10] предложил следующие безразмерные коэффициенты: проходимость по сцеплению

$$\Pi = 1 - \frac{f}{\phi}; \quad (28)$$

проходимость по тяге

$$\Pi_T = 1 - \frac{P_n}{P_k}; \quad (29)$$

проходимость по несущей способности грунта

$$\Pi_q = 1 - \frac{q_{cp}}{q_r}, \quad (30)$$

где f – коэффициент сопротивления дороги;

- φ – коэффициент сцепления;
 P_n – сила сопротивления перекачиванию, Н;
 P_k – сила тяги на колесе, Н;
 $q_{\text{ср}}$ – среднее давление на грунт, Па;
 $q_{\text{г}}$ – предел несущей способности грунта.

Крживицкий А.А. в [11] для оценки проходимости предлагает зависимость для определения высоты снега, по которому может двигаться машина

$$H = \left(\frac{\left(\frac{h_1^n \cdot S_1}{c^n} + (h_1 - \kappa)^n \cdot S_2 \right) \cdot e^{\frac{1}{G}}}{G} \right)^n, \quad (31)$$

где H – максимальная толщина снежного покрова, который может преодолеть машина, м;

- h_1 – величина погружения гусениц в снег, м;
 S_1 – площадь гусениц, м²;
 S_2 – площадь днища машин, м²;
 κ – клиренс, м;
 c, e, n – опытные коэффициенты;
 G – вес машины, Н.

В НАМИ предложен обобщенный показатель проходимости [12]:

$$\Pi = \frac{\left(\frac{m_{\text{м}} \cdot S_{\text{м}}}{t_{\text{м}} \cdot Q_{\text{м}}} \right)}{\left(\frac{m_{\text{ш}} \cdot S_{\text{ш}}}{t_{\text{ш}} \cdot Q_{\text{ш}}} \right)}, \quad (32)$$

- где m – масса перевозимого груза, кг;
 S – длина преодолеваемого участка, м;
 t – время движения участку, с;
 Q – масса топлива, израсходованного на этом участке, кг;
 индексы «м» и «ш» обозначают соответственно движение по участку местности и по эталонной дороге.

Платонов В.Ф., Чистов М.П. и Аксенов А.И. в [13] сравнительную оценку опорной проходимости предлагают проводить в паре с эталонным автомобилем:

$$K_{\text{ПР}} = \frac{\varphi_{k \text{ max}}}{\varphi_{k \text{ max } \ominus}}, \quad (33)$$

- где $\varphi_{k \text{ max}}$ – коэффициент испытуемого автомобиля;
 $\varphi_{k \text{ max } \ominus}$ – коэффициент эталонного автомобиля.

Рукавишников С.В. [14] в качестве оценочного параметра проходимости машин предложил использовать погружение машины

$$K \geq h_{\text{кол}}, \quad (34)$$

где K – дорожный просвет, м;
 $h_{\text{кол}}$ – глубина колеи, м.

Указанные показатели по своему физическому смыслу характеризуют: запас удельной силы тяги; неравномерность распределения давления; использование несущей способности грунта и машины.

Скотников В.А. и Тетеркин А.Е. [15] для оценки проходимости машин по торфяной залежи предлагают три коэффициента

$$K_H = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ср}}}, \quad (35)$$

$$P_{\text{нес}} = A_0 + \frac{B_0 \cdot \Pi}{S}, \quad (36)$$

$$T = \frac{L}{V}, \quad (37)$$

где K_H – коэффициент неравномерности распределения давления;
 P_{max} – максимальное давление, Па;
 $P_{\text{ср}}$ – среднее давление, Па;
 $P_{\text{нес}}$ – несущая способность гусениц;
 Π, S – периметр и площадь гусениц, м, м²;
 A_0, B_0 – коэффициенты, характеризующие прочность торфяной залежи;
 T – время движения по участку, с;
 L – длина преодолеваемого участка, м;
 V – средняя скорость движения, м/с.

Софиян А.П. при оценке проходимости машин учитывает коэффициент буксования [16]:

$$\Pi = \frac{(1 - \sigma)}{\psi}, \quad (38)$$

$$\psi = \frac{f_{\delta}}{f_{\text{гр}}}, \quad (39)$$

где σ – коэффициент буксования;
 $f_{\delta}, f_{\text{гр}}$ – коэффициенты сопротивления движению по бетону и грунту.
 Яржемский С.И. вводит три показателя [17]:

$$m = \frac{q}{p}, \quad (40)$$

$$n = \frac{H}{h}, \quad (41)$$

$$S = \frac{T_n}{W}, \quad (42)$$

где m – показатель проходимости;
 q – несущая способность постели;
 p – наибольшее нормальное напряжение, Па;
 n – показатель погружаемости;
 H – дорожный просвет, м;
 h – глубина погружения, м;
 S – показатель сцепляемости;
 T_n – предельное сцепление с грунтом;
 W – сопротивление движению.

В [18] приводится подробный анализ существующих критериев и показателей оценки проходимости, в том числе, и представленных выше.

Согласно этой оценке показатели проходимости машин (13), (14), (15), (27), (28), (29), (38), (41) по своему физическому смыслу представляют собой запас удельной силы тяги или удельного момента. Эти показатели позволяют произвести сравнительную оценку проходимости нескольких автомобилей при движении по конкретному участку местности. Вместе с тем, их неудобно использовать при сравнительной оценке проходимости автомобилей в различных грунтовых условиях.

Показатели (21), (35) оценивают проходимость машин по соотношению максимального давления к среднему давлению. Указанные показатели являются весьма важными при исследовании системы «местность – машина». Однако их применение при сравнительной оценке нескольких автомобилей весьма проблематично, так как они являются косвенными и не дают прямой оценки проходимости.

Показатели (31), (34) используют для оценки проходимости коэффициент погружения. Этому оценочному параметру присущи все те же недостатки, что и рассмотренному выше критерию – (21), (35).

Методика оценивания опорной проходимости автомобилей с различными приводами ведущих колес. Методика оценивания опорной проходимости составлена с использованием оценочных показателей, приведенных в источниках [1–18]. Методика заключается в расчете следующих оценочных показателей, по результатам которых выполняется оценка опорной проходимости автомобиля.

Коэффициент использования сцепного веса автомобиля:

$$\varphi_{исп} = \frac{P_K}{G_{сц}}, \quad (43)$$

где P_K – сила тяги автомобиля по сцеплению (касательная сила тяги);
 $G_{сц}$ – сцепной вес автомобиля.
 КПД колесного движителя

$$\eta_{вк} = \frac{G_{сц} \cdot \varphi_{исп} - f \cdot G_A}{\varphi_{исп} \cdot G_{сц}} \cdot (1 - \delta), \quad (44)$$

где f – коэффициент сопротивления качению;
 G_A – полный вес автомобиля;
 δ – коэффициент буксования.

Показатель проходимости по тяговым возможностям автомобиля:

$$\Pi_T = 1 - \frac{P_f}{P_T}, \quad (45)$$

где P_f – сила сопротивления качению;

P_T – сила тяги автомобиля по двигателю.

Показатель проходимости по сцеплению ведущих колес с опорной поверхностью

$$\Pi_K = 1 - \frac{P_f}{P_K}. \quad (46)$$

Динамический фактор по тяговым возможностям автомобиля

$$D_T = \frac{P_T}{G_A}. \quad (47)$$

Динамический фактор по сцеплению ведущих колес с опорной поверхностью

$$D_K = \frac{P_K}{G_A}. \quad (48)$$

Неравенства, приведенные ниже, показывают возможность движения автомобиля в зависимости от типа привода ведущих колес и дорожных условий:

$P_K > P_T > P_f$ "движение возможно";

$P_K < P_T < P_f$ "движение невозможно";

$P_T < P_K < P_f$ "движение невозможно";

$P_T < P_f < P_K$ "движение невозможно";

$P_T > P_f > P_K$ "движение невозможно";

$P_T > P_K > P_f$ "движение невозможно".

Величины необходимые для расчета оценочных показателей опорной проходимости определяются по известным в теории автомобиля зависимостям.

Выводы. Проведенный анализ и рассмотренные методики позволяют оценивать опорную проходимость автомобилей в различных дорожных условиях при использовании различных схем привода ведущих колес.

Список литературы: 1. ГОСТ 22653–77 Автомобили. Параметры проходимости. Термины и определения. – Введ. 01.07.1978. 2. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. – М.: Машиностроение, 1981. 3. Бабков В.Ф., Бируля А.К., Сиденко В.М. Проходимость колесных машин по грунту – М.: Автотрансиздат, 1959. 4. Барахтанов Л.В. Повышение проходимости гусеничных машин по снегу. – Горький,

1988. **5.** Безбородова Г.Б. О направлениях научных исследований проходимости автомобилей. – М.: Машиностроение, 1965. **6.** Гмошинский В.Г. Проходимость зимних дорог автотранспортом. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. **7.** Гребеничиков В.И. Исследование проходимости автомобиля по мягким грунтам // Автомобильная промышленность, 1956. **8.** Беккер М.Г. Введение в теорию систем «местность-машина» – М.: Машиностроение, 1973. **9.** Кнороз В.И., Шарикин Ю.Э. Проходимость автомобиля и её оценка // Автомобильная промышленность, 1958. **10.** Крагельский И.В. Об оценке проходимости грунтов – М.: Изд-во АН СССР, 1950. **11.** Крживицкий А.А. Снегоходные машины – М.: Машгиз, 1949. **12.** Кнороз В.И., Петров И.П. Оценка проходимости колесных машин // Труды НАМИ, 1973. **13.** Платонов В.Ф., Чистов М.П., Аксенов А.И. Оценка проходимости полноприводных автомобилей // Автомобильная промышленность, 1980. **14.** Рукавишников С.В., Барахтанов Л.В., Ершов В.И., Куляшов А.П. Снегоходные машины. – Горький: «Волго-Вятское кн. изд-во» 1986. **15.** Скотников В.А., Пономарев А.В., Климанов А.В. Проходимость машин – Мн.: Наука и техника, 1982. **16.** Софьян А.П., Барский И.В. К вопросу взаимодействия гусеничного движителя с почвой – М., 1956. **17.** Яржемский С.И. Критерий проходимости гусеничных машин. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. **18.** Котляренко В.И. Оценка проходимости колёсных машин по деформируемым опорным поверхностям // Ассоциация автомобильной инженерии, 2008.

Поступила в редколлегию 24.11.2012

УДК 629.623.437- 8

Оценка опорной проходимости автомобилей / А. М. Завгородний, В. И. Мироненко, Н. Е. Сергиенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 81–91. – Бібліогр.: 18 назв.

Запропоновано аналіз існуючих показників опорної прохідності автомобілів на основі яких розроблена методика оцінки прохідності машин з різним приводом ведучих коліс. Визначені умови руху автомобіля.

Ключові слова: автомобіль, прохідність, оцінка, методика

Proposed analysis of existing indicators of vehicle flotation, on their basis was developed estimation method of vehicle flotation with different drive unit of driven wheels. Were determined necessary conditions for vehicle move.

Key words: vehicle, floatation, estimation, method